Printer technologieën

In de loop der jaren zijn er niet minder dan twintig technieken ontwikkeld voor het afdrukken van digitale informatie. In dit uitgebreid artikel maakt u kennis met deze technologieën en met hun voor- en nadelen.

Auteur: Jos Verstraten, Maastricht, Nederland
Email: verstraten-1947@outlook.com
Publicatiedatum: 16-11-2025

Inleiding

Van computer naar papier (of iets ander)
In de loop der jaren zijn er verschillende technologieën ontwikkeld, die één eigenschap gemeen hebben. Zij zorgen ervoor dat digitale gegevens, onder de vorm van bits opgeslagen in een computer, worden omgezet in leesbare uitvoer op papier of op een ander medium. De apparaten die dat kunnen worden in het algemeen '*printers*' of door taalpuriteinen '*afdrukkers*' genoemd. In dit hoofdstuk zullen al deze technologieën worden besproken, met hun werking, typische eigenschappen, hun voor- en nadelen. Hierbij worden zowel monochrome als kleurenprinters behandeld.

Twintig technologieën
Na een intensieve zoektocht op internet konden wij niet minder dan twintig verschillende systemen ontdekken, waarmee u aan het vooropgestelde kunt voldoen:
- Hamerprinters
- Daisywheel printers
- Golfbal printers
- Monochrome naaldmatrix printers
- Kleuren naaldmatrix printers
- Monochrome thermo-direct printers
- Monochrome thermo-transfer printers
- Kleuren thermo-transfer printers
- Monochrome inkjet printers
- Kleuren inktjet printers
- Monochrome laserprinters
- Kleuren laserprinters
- LED-array printers
- LCD-array printers
- Tonerjet printers
- Thermal wax printers
- Kleurstof sublimatie printers
- Ionen printers
- Nat-elektrostatische kleurenprinters
- Ultraviolet printers

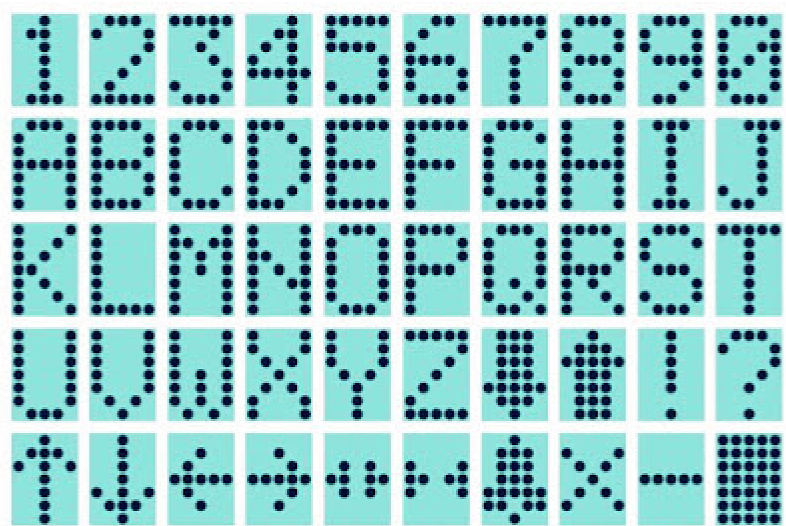
Waarschijnlijk hebt u van sommige van deze technologieën nog nooit gehoord en de logische verklaring is dat dit gespecialiseerde technologieën zijn die alleen specifieke professionele toepassingen hebben.

FFC versus matrix
Alle printer technologieën werken volgens twee principes:
- Het FFC-principe

- Het matrix principe

Het FFC-principe
FFC is het letterwoord voor '*Fully Formed Character*'. Bij deze apparaten wordt gebruik gemaakt van hamertjes, een schijf of een bol met stansvormen, die via een carbon inktlint tegen het papier worden geslagen. Deze stansvormen hebben vloeiende omrandingen, die precies het profiel van een letter, cijfer of symbool volgen. Dergelijke systemen hebben dus een in principe oneindig hoge resolutie. Met het FFC-principe kunt u echter alleen die karakters en symbolen afdrukken die beschikbaar zijn op de hamertjes, de schijf of de bol.

Het matrix principe
Bij dit principe worden uitsluitend kleine inktpuntjes op het papier gedrukt, opgedampt of gespoten. Wilt u bijvoorbeeld een letter printen, dan moet u de in wezen vloeiende vorm van de letter omzetten in een afdruk die bestaat uit een groot aantal puntjes. Het matrix-principe wordt toegelicht aan de hand van de onderstaande figuur. De vloeiende vorm van de letters wordt geprojecteerd op een lijnenmatrix. Ieder kruispunt van een verticale met een horizontale lijn correspondeert met een punt, dat al dan niet geprint kan worden.
Een dergelijk punt noemt men een '*dot*'. De dotjes die de vorm van de letter benaderen moeten geprint worden, alle overige punten blijven blank. In dit voorbeeld wordt gebruik gemaakt van een 5 bij 7 matrix.
Een zeer groot voordeel van matrixprinters is dat u er niet alleen karakters mee kunt printen, maar ook tekeningen, grafieken en foto's. In principe is immers alles dat zichtbaar is samen te stellen met een puntenmatrix.


Letters en cijfers in een 5x7 matrix. (© 2025 Jos Verstraten)

De resolutie van een matrix printer
Deze eigenschap definieert de fijnheid, waarmee de gegevens kunnen worden afgedrukt. Of, met andere woorden, het beschikbaar aantal verticale en horizontale lijnen van de matrix per lengte-eenheid. De resolutie wordt uitgedrukt met de eenheid '*dpi*', afkorting van de Engelse uitdrukking '*dots per inch*'. Een printer die een resolutie heeft van 600 dpi kan dus zowel horizontaal als verticaal 600 dots per inch (2,54 cm) op papier zetten. Let wel dat het niet per definitie zo is, dat de horizontale en verticale resoluties aan elkaar gelijk zijn.
Voor de vaak gebruikte inkjet printers bedraagt de resolutie:
- Instapmodel (thuisgebruik): 300 dpi ~ 1.200 dpi
- Middenklasse (fotoprinters): 1.200 dpi ~ 4.800 dpi
- Hoge kwaliteit (professionele fotoprinters): 4.800 dpi ~ 9.600 dpi

Voor laserprinters bedragen de resoluties:
- Zwart-wit kantoorprinters: 600 dpi ~ 1.200 dpi
- Kleuren laserprinters: 1.200 dpi ~ 2.400 dpi

Impact en non-impact printers

Er zijn printers waarbij het printmechanisme van het apparaat door middel van mechanische kracht contact met het papier maakt. Dit noemt men '*impact*' printers. Anderzijds zijn er printers, waarbij helemaal geen contact tussen het printmechanisme en het papier bestaat. Uiteraard noemt men deze apparaten '*non-impact*' printers.
Het grote voordeel van impact printers is dat zij in staat zijn doorslagen te printen. Dat kan door middel van het ouderwetse carbonpapier, maar ook door gebruik te maken van de moderne doordruk papiersoorten. Vooral in het bedrijfsleven is dit nog steeds een belangrijk voordeel! Daar immers heeft men meestal één of meerdere kopieën nodig van alles dat geprint wordt. Denk bijvoorbeeld aan facturen en pakbonnen. Het is veel handiger en goedkoper deze in één keer door een printer te laten bedrukken, dan voortdurend naar het kopieermachine te lopen!

De hamerprinters

Werkingsprincipe
Hamerprinters werken op dezelfde manier als de ouderwetse schrijfmachines. Een groot aantal hamertjes is in een halve cirkel opgesteld. Het middelpunt van deze cirkel is de plaats op het papier waarop het eerstvolgend karakter terecht moet komen. Ieder hamertje eindigt in een stansvorm die het profiel bevat van twee karakters. De hamertjes worden aangedreven door elektromagneten en worden met tamelijk grote kracht naar het papier bewogen. Tussen de stansvormen en het papier zit een carbon lint. De stansvormen snijden als het ware de karakters uit het carbon lint en drukken deze op het papier.



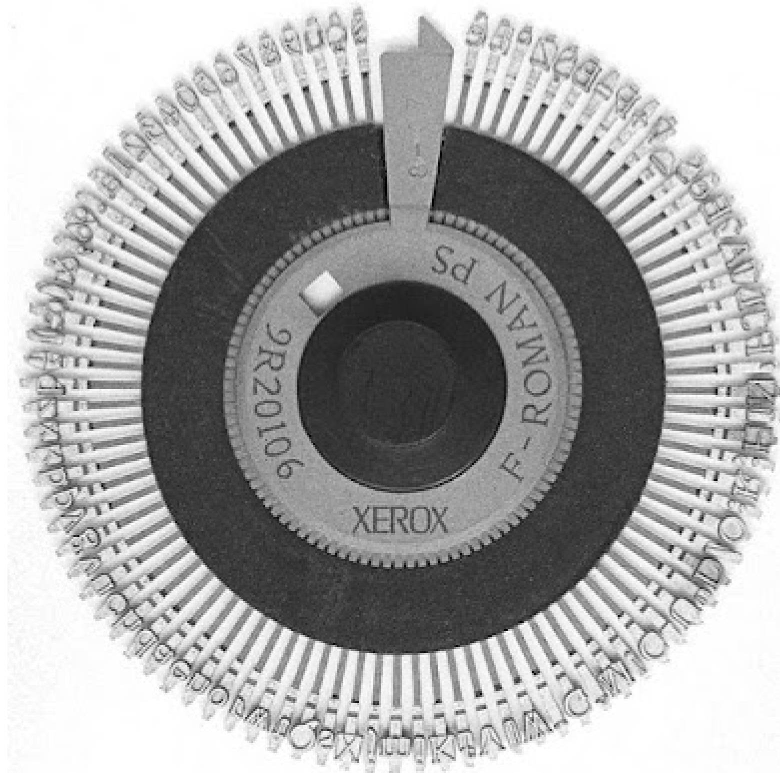
De hamertjes met stansvormen. (© downtechinglondon, edit 2025 Jos Verstraten)

Transport
Bij deze printers wordt het papier tijdens het printen verplaatst en blijft het printmechanisme op een vaste plaats in het apparaat. Na het printen van een karakters wordt het vel papier één karakter-breedte naar links verplaatst en kan het volgende karakter worden geprint. Als de printer een einde-regel code ontvangt wordt het papier weer helemaal naar rechts en één regelafstand naar boven verplaatst. Om deze twee bewegingen soepel te laten verlopen zit het papier in een slede die heen en weer over twee geleiderails kan bewegen en draait het vel papier tussen twee elektrisch aangedreven rubberen rollen.

De daisywheel printers

Werkingsprincipe

Een daisywheel printer is een impact printer die werkt met een ronde schijf, voorzien van een groot aantal flexibele spaken. Op de uiteinden van de spaken zitten de karakters (letters, cijfers en leestekens) die door een hamertje tegen het inktlint geslagen worden. In de onderstaande figuur ziet u hoe zo'n karakter-schijf er uitziet. Omdat er, met enige verbeelding, een margrietbloem in kan worden herkend heten deze apparaten '*daisywheel printers*'. Daisy is immers het Engelse woord voor margriet.



De typische vorm van de letterschijf. (© 2018 Raimond Spekking)

Na het ontvangen van een karaktercode wordt het wiel zo gedraaid dat het juiste karakter bovenaan staat. Daarna slaat een hamertje tegen de betreffende spaak, die dan via het inktlint een afdruk op het papier achterlaat.

Voor- en nadelen van de daisywheel printers
Het is mogelijk verschillende lettertypes (fonts) te gebruiken door het letterwiel te verwisselen. Deze schijven kunnen apart bijgekocht worden. Nadeel is de relatieve traagheid. Het kost vrij veel tijd om de schijf met het juiste karakter in de juiste printpositie te draaien.

De golfbal printers

Werkingsprincipe
De golfbal printer is vooral bekend geworden door de '*Selectric*' machines van IBM, geïntroduceerd in de jaren 60 en 70. De naam komt van het bolvormige afdrukelement dat lijkt op een kleine golfbal. Op het oppervlak van die bol zijn alle letters, cijfers en symbolen in reliëf aangebracht. De bol maakt per geprint karakter twee bewegingen om het gewenste karakter on de printpositie te brengen:

- Rotatie (horizontaal) draait de bol naar de juiste sector.
- Kanteling (verticaal) kantelt de bol om de juiste rij te kiezen.

Nadien slaat de bol met kracht tegen het inktlint en het papier, waardoor de inkt van het lint wordt overgebracht op het papier. Nadien springt de bol terug en de wagen schuift één positie op.



De typische vorm van de printkop. (© 2010 Steve Summit)

Voordelen van de golfbal printers
Omdat er maar één bewegend print-element is, kan het systeem sneller en betrouwbaarder werken dan machines met losse hamers. De tekst ziet er ook strakker en gelijkmatiger uit, bijna als gedrukt. U kunt de golfbal met één handgreep vervangen door een ander exemplaar, waardoor het mogelijk is snel om te schakelen naar vette of cursieve tekst.

Proportioneel schrift
Hoewel de golfbal printers niet de eerste karakterprinters waren die gebruik maakten van proportioneel schrift is het zonder meer een feit dat de introductie van de '*Electronic Selectric Composer*' in 1975 door IBM een ware revolutie heeft veroorzaakt in het printen van karakters. De ontwikkeling van dit apparaat betekende dat het voor het eerst mogelijk werd voor een vrij geringe investering professioneel zetwerk te produceren.
In de onderstaande figuur ziet u het verschil tussen monospace tekst en proportionele tekst. Bij monospace tekst zijn alle karakters even breed, wat uiteraard nogal onnatuurlijk is. Bij proportionele tekst hebben de karakters diverse breedtes. Een '*i*' is dus veel smaller dan een '*W*'. Bij de '*Electronic Selectric Composer*' waren de letter drie tot negen karakter-eenheden breed. Het gevolg was een heel professioneel en rustig letterbeeld. Een tweede revolutionaire eigenschap van deze printer was dat u er uitgevulde tekst mee kon produceren. Bij uitgevulde tekst heeft iedere regel tekst dezelfde breedte. Dat is mogelijk doordat ook de spaties tussen de woorden niet allemaal even breed waren, maar zó breed werden gemaakt tot ieder regel evenveel karakter-eenheden bevatte. Een primitieve ingebouwde computer onderzocht de letter-samenstelling van een regel in het geheugen en berekende hoe breed de spaties moesten worden om de regel uit te vullen. Nadien werd deze ene regel geprint.

The quick brown fox jumps over the lazy dog
The quick brown fox jumps over the lazy dog

Monospace versus proportionele tekst. (© 2025 Jos Verstraten)

De monochrome naaldmatrix printers

Werkingsprincipe
Met het begrip '*naaldmatrix printer*' worden alle printers aangeduid waarbij het drukbeeld tot stand komt door een aantal naaldjes via een inktlint op het papier te laten slaan. Het papier wordt getransporteerd middels een rubber rol, die er voor zorgt dat de naaldjes goed contact maken met het papier. Het zal dus duidelijk zijn dat naaldmatrix printers impact printers zijn. De naaldjes zitten in een printkop en zij worden elektromagnetisch aangedreven. Matrix printers met naalden heten officieel '*SIDM-printers*', letterwoord van '***S**erial **I**mpact **D**ot **M**atrix*'.



De OKI ML5790, een 24-naald matrixprinter. (© OKI)

Regelprinter
Een naaldmatrix printer is een regelprinter. De naaldjes zitten in een printkop, die door middel van een geleidingsmechanisme van links naar rechts of van rechts naar links over het papier wordt verplaatst. Tezelfdertijd wordt de informatie van deze regel op het papier geprint. Nadien zorgt de rubber transportrol ervoor dat het papier over één regel wordt verplaatst. Ook bij het afdrukken van grafische afbeeldingen wordt op deze manier gewerkt. De software in de printerdriver ontleedt het volledige beeld in regel-na-regel informatie en stuurt deze informatie regelgewijs naar de printer.

Aantal naalden
Een belangrijke specificatie van naaldmatrix printers is het aantal naalden waarover zij beschikken. De allereerste modellen hadden 8 of 9 naaldjes, de moderne uitvoeringen bezitten allemaal 18 tot 24 naaldjes. Het zal duidelijk zijn dat het aantal naaldjes de maximale resolutie van de printer bepaalt. Toch is het niet zo dat men zonder meer kan stellen dat de kwaliteit van het drukbeeld rechtstreeks afhankelijk is van het aantal naaldjes. Het probleem is dat de naaldjes natuurlijk een bepaalde onderlinge afstand hebben. Anderzijds hebben zij een bepaalde dikte, die varieert van 0,1 tot 0,4 mm. Er bestaat een bepaalde verhouding tussen naaldafstand en naalddikte, waarbij een optimaal letterbeeld ontstaat. Deze optimale verhouding kan technologisch uitstekend gerealiseerd worden bij printkoppen met 18 naaldjes. Bij de 24-naald modellen is dat moeilijker. In de praktijk zijn daar de naaldjes iets te dun, waardoor een rafelig letterbeeld ontstaat.
Voor het Europese schrift zijn 18 naaldjes trouwens meer dan voldoende. De printkoppen met 24 naaldjes zijn een Japanse ontwikkeling, omdat bleek dat 18 naalden niet genoeg waren om de ingewikkelde symbolen van het Japanse schrift keurig te vormen.

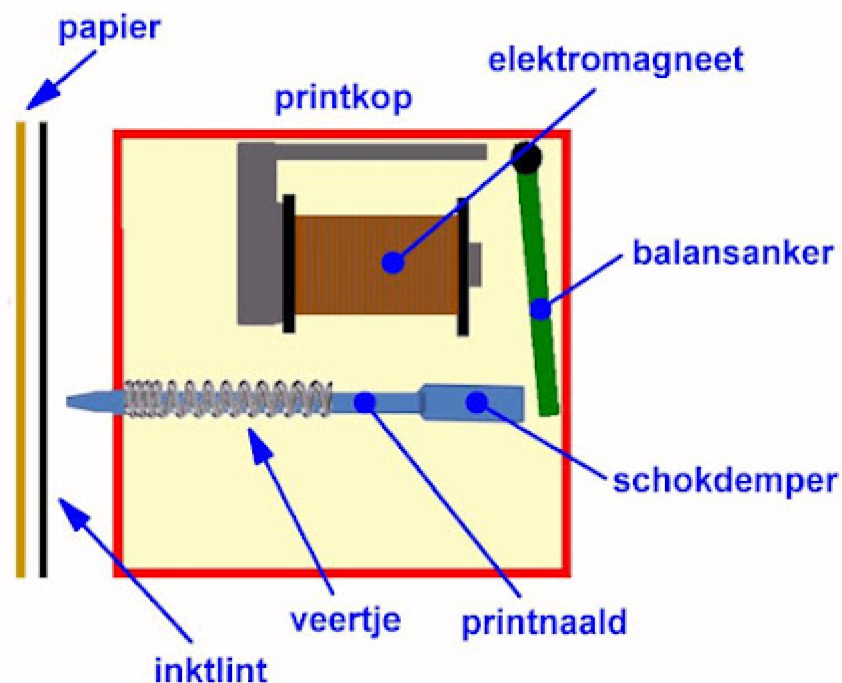
De constructie van de printkop
Zoals uit de onderstaande figuur blijkt, zitten de naalden op een rijtje ('*in-line*') in de printkop. Dit geldt voor 9-naald printers, bij 18 en 24 naalden wordt gebruik gemaakt van twee rijen van

respectievelijk 9 en 12 naalden, die onderling iets verschoven zijn ('*dual in-line staggered*').



Constructie van een 9-naald printkop. (© 1989 Hinnerk Rümenapf)

De ballistische balansanker printkop
In de onderstaande figuur ziet u de meest gebruikte constructie van de printkop getekend. Deze kop werkt volgens het '*ballistische balansanker*'-principe. De naald kan vrij bewegen in een ceramische houder en wordt door middel van een klein veertje in de rustpositie gedwongen. Het interne uiteinde van de naald is uitgerust met een klein schokdempertje van rubber. De naald wordt geactiveerd door een balansanker, dat draait rond een asje en aan de onderzijde wordt aangetrokken door het magneetveld van de spoel van de elektromagneet. Die elektromagneet kan een flinke stroom verdragen.



De ballistische balansanker printkop. (© 2025 Jos Verstraten)

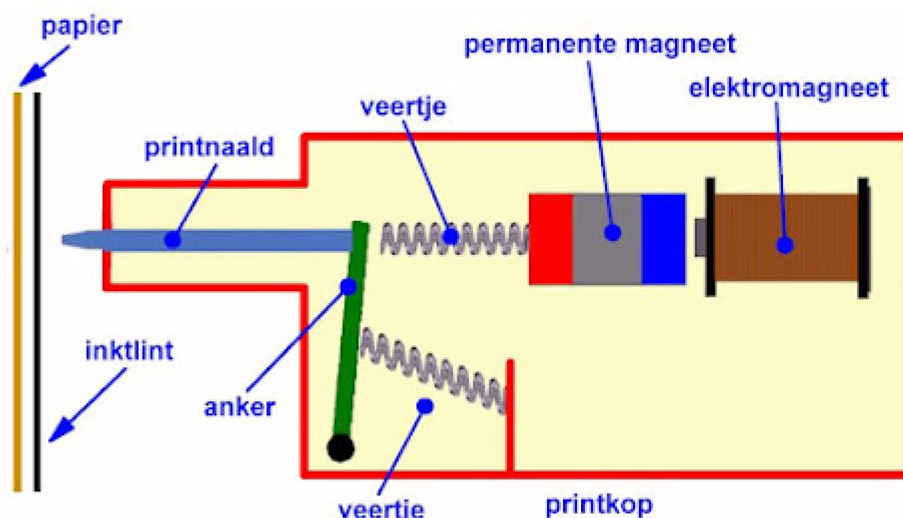
De kracht waarmee de naald tegen het inktlint slaat, is in te stellen door de grootte van het magneetveld te wijzigen. Op deze manier kan men met dergelijke printkoppen maximaal tien goed leesbare doorslagen maken. In de vakwereld noemt men dit '*HFP*', letterwoord voor '***H**eavy **F**orms **P**rinting*'. Een nadeel van deze constructie is dat er heel wat elektrisch vermogen in de spoeltjes gepompt moet worden. Er moet immers een sterk magneetveld

ontstaan om de naaldjes met grote kracht weg te schieten. Een en ander heeft tot gevolg dat een ballistische kop behoorlijk heet kan worden. De maximaal toelaatbare hitte-ontwikkeling stelt bepaalde grenzen aan het maximaal aantal naaldbewegingen per seconde, met andere woorden aan de maximale printsnelheid.
Hoe zo'n mechanisme er in het écht uitziet blijkt uit de onderstaande foto. Hier ziet u de open gesneden printkop van de 24-naald printer T2240 van Tally Genicom.



Een kijkje in een 24-naald printerkop. (© 2023 Mister RF)

De stored-energy printkop
De constructie van een dergelijke printkop is getekend in de onderstaande figuur. De naald is gekoppeld aan een draaibaar opgesteld anker. Achter het anker zit een klein veertje, dat door een sterke permanente magneet in de samengedrukte rustpositie wordt gehouden. Achter de permanente magneet staat een elektromagneet. Als dit spoeltje onder spanning wordt gezet zal het elektromagnetisch veld van het spoeltje het permanent magnetisch veld van de magneet verzwakken. Het resulterende veld is niet in staat de veer in de samengedrukte positie te houden. De veer ontspant zich, slaat tegen het anker en het anker drukt de naald tegen het inktlint.



De stored-energy printkop. (© 2025 Jos Verstraten)

De naam van deze koppen is te verklaren uit het feit dat de energie, noodzakelijk om de naald met voldoende kracht tegen het inktlint te drukken, nu niet geleverd moet worden door de elektrische energie die men naar het spoeltje stuurt. Een groot deel van de energie zit in de krachtenbalans tussen de samengedrukte veer en de permanente magneet. Het volstaat deze krachtenbalans met een klein stroompulsje te verbreken om het systeem in werking te zetten.
Het voordeel van de '*stored-energy*'-constructie is dat er veel minder elektrische energie in de printkop geïnvesteerd moet worden. Deze wordt dus minder heet, met als gevolg dat de printsnelheid aanmerkelijk verhoogd kan worden. Een moderne '*stored-enegy*'-kop kan een snelheid van 1.800 Hz bereiken, hetgeen betekent dat een naaldje maximaal 1.800 keer per seconde geactiveerd kan worden!

De resolutie van naaldmatrix printers
De maximale resolutie van naaldmatrix printers is afhankelijk van het aantal naalden en de manier waarop deze naalden worden aangestuurd:

- Met 9-naald printers kunt u een resolutie bereiken tussen 60 en 240 dpi.
- Met 24-naald modellen is een resolutie tussen 240 en 360 dpi mogelijk.

Bij deze resolutie moet u echter wél bedenken dat de meeste 24-naald printers in de letter-modus slechts gebruik maken van 18 naalden. De 24 naalden worden alleen allemaal ingeschakeld als u de printer in de grafische modus zet en grafieken of tekeningen verwerkt.

Voor- en nadelen van naaldmatrix printers
Het grote voordeel van de naaldmatrix printer is dat het een impact printer is, zodat u doorslagen kunt maken. Bovendien heeft de printer geen moeite met kettingpapier, zodat dergelijke printers nog steeds in kantooromgevingen worden toegepast om met grote snelheid duizenden facturen per uur af te handelen.
Het grote nadeel van een impact printer is dat het apparaat zeer veel lawaai produceert. De uiterst dunne naaldjes worden met een grote kracht tegen het inktlint en het papier geslagen hetgeen, gecombineerd met de hoge frequentie van de naaldbewegingen, een zeer storend ratelend geluid tot gevolg heeft. Een tweede nadeel is dat dergelijke apparaten nogal storingsgevoelig zijn en onderhoud vergen. Het inktlint strijkt voortdurend tegen de printkop, waardoor deze laatste langzaam maar zeker vervuilt.

Kleuren naaldmatrix printers

Gekleurd lint
Naaldmatrix printers zijn in principe ook geschikt voor het afdrukken van kleuren. Het zwarte inktlint wordt dan vervangen door een inktlint dat bestaat uit vier kleurbanden met als kleuren zwart, rood, blauw en geel. Het lintgeleidingsmechanisme is nu bestuurbaar, zodat de software een van de kleurbanden voor de naaldjes kan zetten. Met een dergelijk lint kunnen, door een eenvoudige additieve menging van de beschikbare basiskleuren, in principe zeven kleuren worden afgedrukt. In principe, omdat niet alle mengkleuren er even fraai uitzien!
Omdat de naaldmatrix printer een regeldrukker is, zal het duidelijk zijn dat kleuren op het papier verschijnen door de printkop vier keer over een en dezelfde regel te sturen. Bij iedere doorgang wordt er een andere kleurband van het inktlint voor de naalden geplaatst.



De inktlint cartridge van een kleuren matrixprinter. (© Alibaba)

Nadelen van kleuren naaldmatrix printers
Naaldmatrix printers met kleur hebben in feite niets dan nadelen. Jaren lang was dit principe echter het enige waarmee men op een betaalbare manier kleur op papier kon krijgen. Nu er inktjet- en laserprinters op de markt zijn die hetzelfde veel beter, goedkoper en sneller kunnen, is de rol van de kleuren naaldmatrix printer volledig uitgespeeld.
Het grootste probleem met gekleurde inktlinten is dat de inktvoorraad in de vier kleurbanden niet even snel en niet gelijkmatig opraakt. Heeft men bijvoorbeeld iets geprint waar een heleboel rood in zit, dan zal het rode gedeelte van het inktlint plaatselijk minder kleur bevatten. Drukt men nadien een gekleurde illustratie af waarbij gebruik wordt gemaakt van mengkleuren, dan kan het gebeuren dat een oranje vlak op de ene plaats een heel andere tint heeft dan op een andere plaats.

Monochrome thermo-direct printers

Werkingsprincipe
Het fundamentele werkingsprincipe van een thermo-direct printer wijkt in wezen niet erg veel af van dat van de naaldmatrix collega. Ook nu is er een printkop, die door middel van een geleidingsmechanisme van links naar recht of van rechts naar links over het papier wordt verplaatst. Ook nu wordt het papier door middel van een rubber rol regel na regel verplaatst.
De printkop bestaat nu echter uit een aantal zeer kleine metalen contactvlakjes. Onder ieder vlakje zit een klein elektrisch verwarmingselementje.
De thermo-direct printers werken alleen als er speciaal chemisch geprepareerd papier wordt gebruikt. Aan één zijde van het vel is een coating aangebracht met een stof, die onder normale temperatuur omstandigheden wit is, maar zwart verkleurt als de temperatuur stijgt tot ongeveer 90 °C.
De thermische printkop glijdt over het papier. Als een dot geprint moet worden, wordt het betreffende verwarmingselementje even gestuurd. Het contactvlakje wordt heet, de hitte straalt af op het papier en het oppervlak onder het contactvlakje wordt zwart.

Klassen
Printers die werken volgens het thermodirect principe behoren tot de klasse van de regelprinters. Bovendien zijn het non-impact printers.

Voor- en nadelen
Het thermo-direct principe heeft als voordeel dat de printer absoluut geruisloos werkt. Er zijn geen bewegende onderdelen, behalve dan natuurlijk de twee motoren die zorgen voor het papier- en koptransport. Maar dat kan tegenwoordig volledig in stilte gaan. De levensduur van een dergelijk apparaat is erg lang, waarbij er bovendien nauwelijks onderhoud noodzakelijk is. Tweede groot voordeel is dat de geprinte dots diepzwart zijn, hetgeen mooi contrasteert met de witte laag hittegevoelige stof op het papier.
Het systeem heeft als groot nadeel dat er speciaal vrij duur thermisch papier voor nodig is. Bovendien is de afdruk niet stabiel. Na enige jaren verkleurt ook het niet verhitte deel van het

papier, waardoor het contrast van de afdruk gaat dalen.

Toepassingen
U kent de thermo-direct printer uiteraard van de printers in de kassa's van de supermarkten en van de etiketten printers. Omdat zij geen inkt nodig hebben en erg weinig energie verbruiken worden zij ook aangeboden als goedkope draagbare printer die u samen met uw laptop in uw aktentas naar uw zakenrelaties kunt meenemen. Zij halen de voeding dan uit batterijen en communiceren via bluetooth met uw tablet, telefoon of laptop.



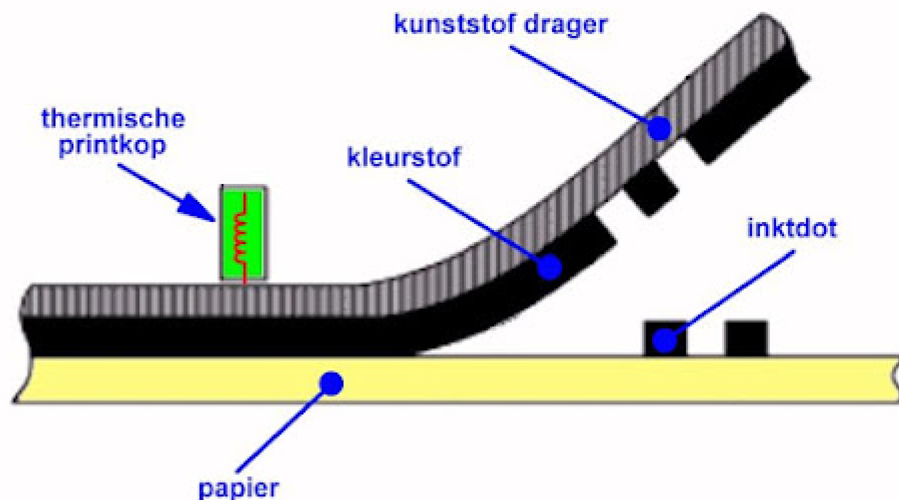
Een voorbeeld van een draagbare thermo-direct printer. (© Amazon)

Het thermisch printerpapier
Dit papier is speciaal gecoat papier dat reageert op hitte in plaats van op inkt. De chemische samenstelling is zorgvuldig ontworpen zodat delen van het papier zwart kleuren wanneer ze verhit worden door de printerkop. Het dragermateriaal is gewoon houtpulp-papier, meestal van hoge kwaliteit (wit, glad, ca. 60 ~ 80 g/m^2). Het bevat cellulosevezels ($C_6H_{10}O_5$), kleine hoeveelheden vulstoffen zoals calciumcarbonaat en bindmiddelen zoals zetmeel of latex. De actieve thermische laag, aangebracht op de drager, reageert op hitte. Deze bestaat typisch uit vier hoofdbestanddelen:

- **Leuco-kleurstof**
  De kleurloze verbinding die bij verhitting zwart wordt, zoals kristalviolet lacton (CVL), fluoran- of spiropyran-derivaten.
- **Ontwikkelaar**
  Reageert met de kleurstof bij warmte om de donkere kleur te vormen. Er wordt gebruik gemaakt van Pergafast 201, ureum-derivaten of asparaginezuur-condensaten.
- **Bindmiddel**
  Houdt de componenten vast en smelt bij ca. 70 tot 120 °C om de reactie mogelijk te maken. Met gebruikt polyvinylalcohol (PVA), acrylaten of latex.
- **Topcoat**
  Beschermt de afdruk tegen licht, vet, vocht en krassen. Men gebruikt vaak een polymeer laag, zoals polyurethaan, PVA of siliconen.

Monochrome thermo-transfer printers

Werkingsprincipe
Het principe van deze thermische printers is in grote lijnen te vergelijken met dit van de thermo-direct printers. Zij werken met hetzelfde soort printkop. Zoals uit de onderstaande figuur blijkt, zit er nu echter tussen de printkop en het papier een speciaal inktlint. Een mechanisch veersysteem zorgt ervoor dat het lint zacht tegen het papier wordt aangedrukt. Het lint bestaat uit een kunststof drager, waarop een speciaal soort kleurstof is aangebracht. Deze kleurstof op wasbasis heeft een laag smeltpunt. Als een van de contactplaatjes van de printkop wordt opgewarmd zal plaatselijk een beetje van deze was smelten. De vloeibare was wordt overgedragen op het papier en vormt daar een klein zwart puntje. Het koude papier zorgt er immers voor dat de was onmiddellijk weer stolt.



Werkingsprincipe van monochrome thermo-transfer printers.
(© 2025 Jos Verstraten)

Papiersoorten
Uit de beschrijving van de werking volgt het grote voordeel van het systeem: u kunt gewoon papier gebruiken! Toch blijkt in de praktijk dat een afdruk op normaal printerpapier niet die hoge kwaliteit heeft, waartoe het systeem in staat is. Normaal papier is namelijk vezelachtig en het gevolg is dat de gesmolten was gedeeltelijk in het papier smelt. Het resultaat is dat de was iets uitgesmeerd wordt, waardoor de dots geen scherpe omrandig hebben, meer min of meer de vezelstructuur van het papier volgen. Doordat een gedeelte van de was in het papier dringt is bovendien de zwarting niet optimaal.
Wilt u de allerhoogste kwaliteit uit een dergelijke printer halen, dan moet u gebruik maken van speciaal geprepareerd papier. Dit papier heeft een witte glanzende bovenlaag, die als eigenschap heeft dat de gesmolten zwarte was er op blijft liggen, maar er zich wel uitstekend aan hecht. Het gevolg is een diepzwarte afdruk op hagelwit papier, met bovendien zeer scherpe omrandigen van de individuele dots. Gebruikt u dit vrij dure papier, dan kan de afdrukkwaliteit van een thermo-transfer printer zich zonder meer meten met deze van de allerbeste laserprinters.

De printkop van een thermo-transfer printer
De constructie van de printkop is veel en veel eenvoudiger dan deze van naaldmatrix of inkjet printers. Tegenwoordig kan een thermische printkop zelfs volledig in dikke-film technologie worden uitgevoerd. Dat betekent dat alle onderdelen via optisch-chemische weg op een keramische drager worden geëtst en/of opgedampt. Een moderne thermische printkop is dan ook maar enige mm dik en heeft erg weinig thermisch verlies. Er moet dus heel weinig elektrisch vermogen in de kop gepompt worden, hetgeen als groot voordeel heeft dat de printer gemakkelijk uit batterijen gevoed kan worden.

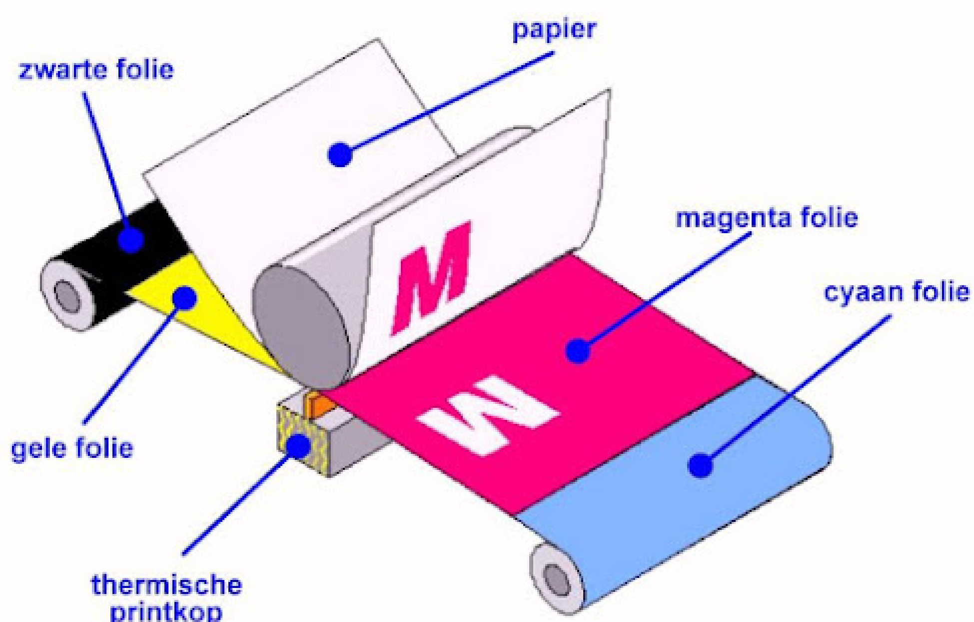
De resolutie
Het dikke-film procédé heeft als voordeel dat het erg goedkoop mogelijk is vele elementjes op een klein oppervlak onder te brengen. Het is mogelijk tot 32 elementjes dual in-line staggered

op te stellen, waardoor een thermo-transfer printer een resolutie haalt die zonder meer te vergelijken is met, of zelfs beter is dan, deze van een goedkope laserprinter. Zelfs de goedkoopste thermo-transfer printers beschikken over een resolutie van 300 dpi en de betere modellen halen tegenwoordig 1.200 dpi.

Nadeel van de thermo-transfer printers
Het grote nadeel van het thermo-transfer principe is dat de inktlinten slechts éénmaal bruikbaar zijn. Daar waar de kleurstof is gesmolten ontstaat immers een onderbreking in de kleurlaag. Het gevolg is dat op het inktlint een spiegelbeeld ontstaat van alle letters die zijn afgedrukt! Als u een gebruikt thermisch lint uit de prullenbak vist en er mee voor een spiegel gaat staan, kunt u zonder problemen alle brieven, die de afgelopen dagen of weken zijn geschreven, lezen.
Een tweede nadeel is dat de afdruk tamelijk gevoelig is voor beschadigingen. Dit is zeker het geval als u gebruik maakt van het speciale glanzende papier, waarbij de wasdotjes op het papier blijven liggen. Krast u met een scherp voorwerp over de afdruk, dan laten de wasdotjes los en ontstaat er een lelijke witte kras op de afdruk.

Kleuren thermo-transfer printers

Werkingsprincipe
De inktrol bestaat nu uit een opeenvolging van vier folies met verschillend gekleurde stoffen, die allemaal even groot zijn als het te bedrukken papier, zie de onderstaande figuur. Deze rol wordt weer door een verwarmings-array tegen het papier gedrukt. Het volledige kleurenbeeld wordt in vier arbeidsgangen samengesteld. Eerst wordt de eerste kleurfolie in de juiste positie gebracht. Bij de eerste drukgang wordt het papier in deze ene kleur bedrukt. Nadien wordt het papier terug naar de uitgangspositie getransporteerd, de tweede kleurfolie in positie gebracht en wordt de tweede kleur aangebracht. Dit gaat zo verder tot alle vier kleuren op het papier zijn aangebracht.
Het zal duidelijk zijn dat er bij dergelijke kleurenprinters heel hoge eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid van het papiertransport. Het papier gaat drie of vier keer heen en weer in het mechanisme. Zit er speling in dit transport, dan zullen de vier kleurenbeelden elkaar niet precies dekken en ontstaan zeer storende kleurzwemen aan de randen van de kleurovergangen.



Werkingsprincipe van kleuren thermo-transfer printers.
(© www.pcmag.com, edit 2025 Jos Verstraten)

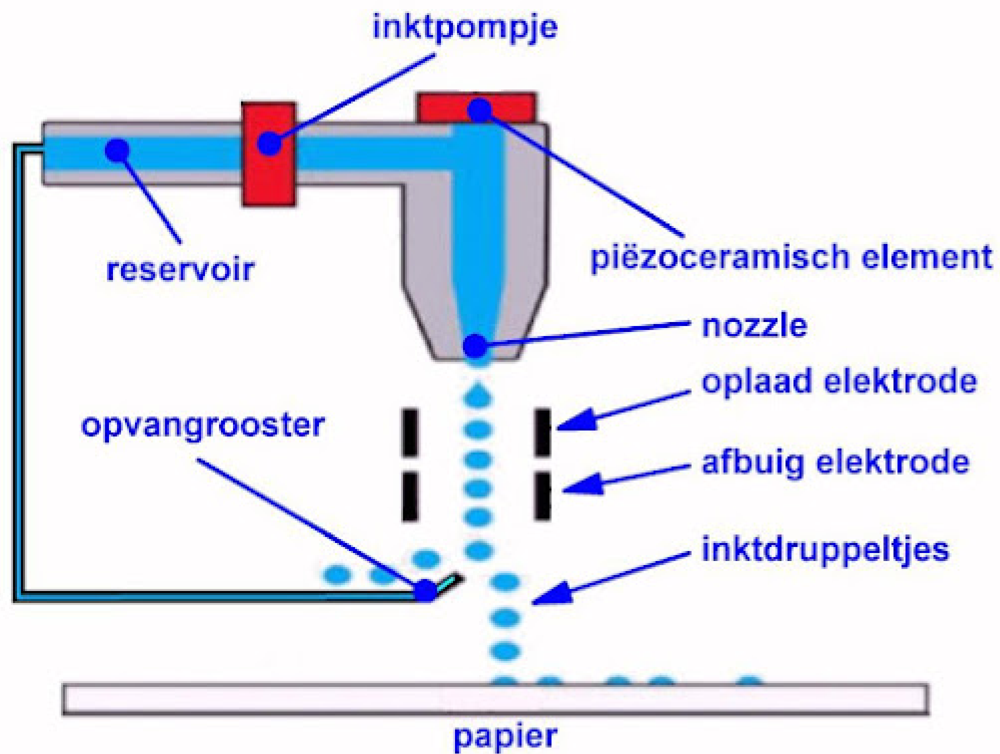
Monochrome inkjet printers

Werkingsprincipe
Een inkjet printer spuit uiterst kleine druppeltjes inkt op het papier. De printkop is voorzien van een groot aantal uiterst kleine gaatjes, de zogenoemde '*nozzles*' of spuitmondjes. De eerste apparaten die op de markt kwamen waren erg duur en gaven bovendien nogal wat problemen, onder meer doordat de uiterst fijne nozzles om de haverklap verstopten. Het was Hewlett Packard die met zijn serie '*Deskjet*'-printers een ware technologische revolutie veroorzaakte. Met deze serie kwam een reeks goedkope en kwalitatief hoogstaande printers op de markt, waarvan de printresultaten zich in weinig onderscheidden van de (toen) veel duurdere laserprinters.

De printkop
De printkop van een inkjet printer is een waar wondertje van moderne technologie. Op een minuscuul oppervlak van een paar vierkante millimeter zijn tussen 48 en 64 spuitmondjes aanwezig, waarin bepaalde mechanismen er voor zorgen dat ongeveer 100 picoliter inkt (is gelijk aan 0,000.000.000.1 liter!) uit een reservoirtje wordt opgepompt en op de juiste momenten met een snelheid van 40 km/h naar het papier wordt gespoten. Hiervoor zijn in de loop der tijden drie verschillende systemen ontwikkeld, namelijk:

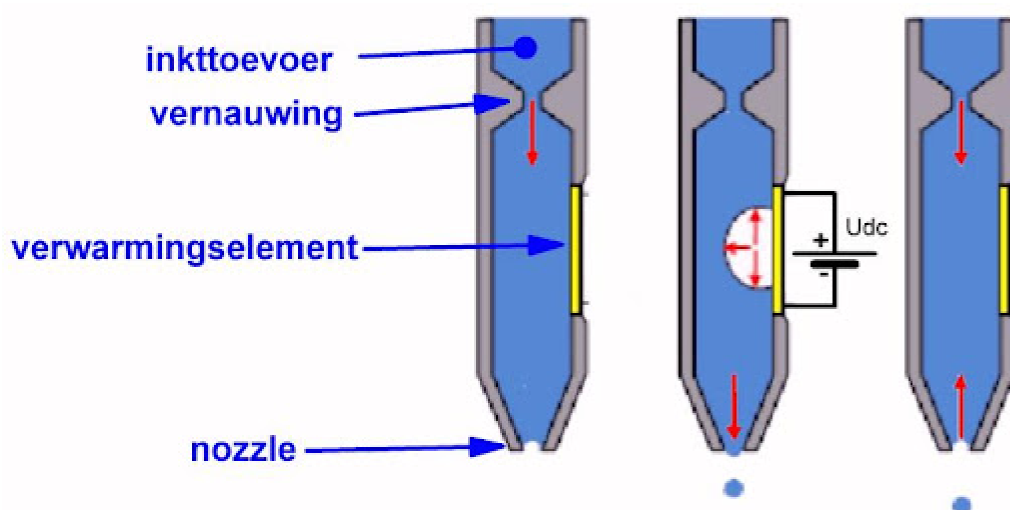
- Het continuous drop principe
- Het bubblejet principe
- Het piëzo-elektrisch principe

Continuous drop principe
Het allereerste principe dat werd ontwikkeld, werkte met een continue inktstroom. Vandaar de naam '*continuous drop*'. Deze continue inktstroom moest er voor zorgen dat het grote probleem van het principe, namelijk het dichtslibben van de nozzles, nooit kon voorkomen. Het principe is geschetst in de onderstaande figuur. Uit het inktreservoir wordt via een inktpompje en een piëzo-ceramisch drukelement een continue stroom inktdruppeltjes in de richting van het papier gespoten. Deze straal wordt door twee oplaad elektroden geleid, die de druppeltjes inkt elektrisch opladen. Voordat de inktstraal op het papier terecht komt, wordt zij eerst door twee afbuig elektroden gevoerd.
Tussen deze twee elektroden wordt een positieve of negatieve gelijkspanning gezet. Het elektrisch veld dat hierdoor ontstaat, zal de geladen inktdruppeltjes ofwel afbuigen in de richting van het papier, ofwel afbuigen naar een opvangrooster. Via een dunne leiding wordt de opgevangen inkt dan weer terug gevoerd naar het reservoir.



Werking van het 'continuous drop' principe.
(© researchgate.net, edit 2025 Jos Verstraten)

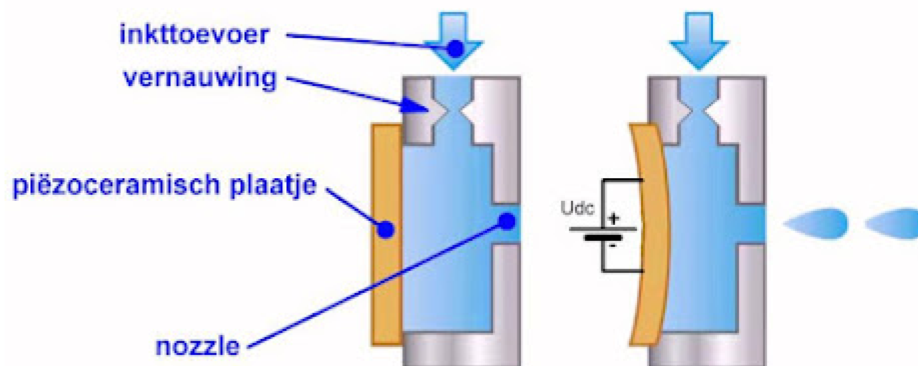
Bubblejet principe
Bij dit eerste '*drop on demand*'-principe wordt gebruik gemaakt van het feit dat stoffen die verdampen uitzetten. In iedere inkttoevoerleiding naar een nozzle zit, zie de onderstaande figuur, een vernauwing en een klein verwarmingselementje. Stuurt men een stroomstootje door dit element, dan warmt dit op en zal de warmte overdragen naar de inktmoleculen in de omgeving. De inkt verdampt, waardoor het volume met duizenden procenten toeneemt. Hierdoor wordt een bepaalde hoeveelheid inkt met grote kracht uit de nozzle gedrukt en naar het papier gespoten. De vernauwing voorkomt dat de inkt weer naar het reservoir wordt geperst. Als de stroompuls door het weerstandje wegvalt zal het dampbelletje weer condenseren, de druk in het buisje valt weg en de inkt wordt weer naar binnen gezogen.



Werking van het bubblejet principe. (© researchgate.net, edit 2025 Jos Verstraten)

Het piëzo-elektrisch principe
Bij dit tweede '*drop on demand*'-principe wordt gebruik gemaakt van een ander fysisch verschijnsel, namelijk de piëzo-elektriciteit. Bepaalde ceramische materialen zullen, als zij onder elektrische spanning worden gezet, vervormen. Dit piëzo-elektrisch effect wordt onder andere toegepast in sommige microfoons en in kristallen. Als u van een dergelijk materiaal een uiterst dun plaatje maakt en een kleine gelijkspanning over het plaatje zet, zal het plaatje

krom trekken. Door deze beweging kan een klein inktdruppeltje uit de nozzle worden geschoten. De constructie van een dergelijke piëzo-elektrische inktspuiter is getekend in de onderstaande figuur.
Er wordt een kleine ruimte gevormd die zich, als gevolg van de capillaire werking, vol zuigt met inkt. Deze ruimte wordt afgesloten met een vernauwing. Zet men het piëzo-ceramische plaatje onder spanning, dan zal dit vervormen, waardoor er druk op de inkt wordt uitgeoefend. Het ligt voor de hand dat deze de weg van de minste weerstand zoekt en dus de grootste hoeveelheid inkt naar rechts een uitweg zoekt. Op deze manier wordt een heel klein druppeltje inkt naar het papier gespoten.



Werking van het piëzo-elektrisch principe.
(© keyence.com, edit 2025 Jos Verstraten)

Edge shooter
De in de vorige afbeelding voorgestelde printkop wordt ook wel eens een '*edge shooter*' genoemd. Er bestaat immers een hoek (edge) van 90° tussen de aanvoer en de uitvoer van de inkt. Dergelijke printkoppen zijn in staat enorme printsnelheiden te bereiken.

Klasse
Het zal wel duidelijk zijn dat inktjet printers non-impact printers zijn. Met als groot voordeel dat het printen zélf volledig geruisloos werkt en als groot nadeel dat u geen doorslagen kunt printen.

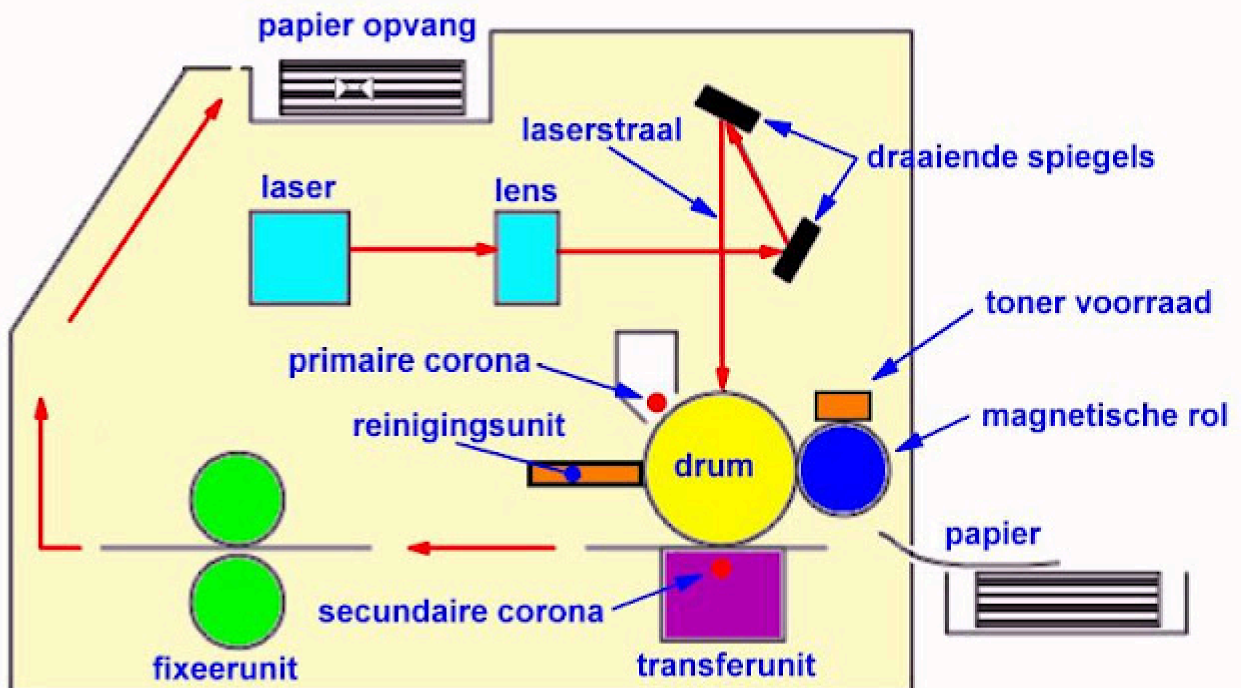
De resolutie
Moderne consumenten inkjet printers worden gemaakt met resoluties van 600 tot 1.200 dpi. Bij professionele printers zijn zelfs resoluties van 9.600 dpi mogelijk.

Kleuren inktjet printers

Werkingsprincipe
Het zal duidelijk zijn dat het principe van de inktjet printer zich uitstekend leent voor kleurendruk. Men moet immers alleen het aantal printkoppen uitbreiden tot vier, deze vier koppen keurig naast elkaar opstellen en iedere printkop vullen met de geëigende kleur.
Dat is dan ook precies wat in de praktijk gebeurt! Bij de goedkope typen kleurenprinters wordt een tweede inktkop naast de zwarte gemonteerd, waarin een speciale inktcartridge past die drie kleurcompartimenten heeft. De drie spuitmonden hebben echter veel minder nozzles dan bij de zwarte cartridge, waaruit automatisch volgt dat de maximale resolutie voor kleur lager is dan deze bij zwart/wit.
Het nadeel van dit soort printers is dat deze zeer oneconomisch zijn, omdat het zelden zal voorkomen dat men even veel rode, gele en blauwe inkt verbruikt. Bij de duurdere modellen gebruikt met vier identieke printkoppen en cartridges, ieder voor één kleur. Het zal duidelijk zijn dat de resolutie voor kleur nu even hoog kan zijn als deze voor zwartdruk, terwijl geen inkt verloren gaat.

Monochrome laserprinters

Werkingsprincipe
Laserprinters werken op dezelfde manier als een kopieerapparaat. Het basisprincipe heet '*elektrostatische beeldoverdracht*', ook wel eens '*xerografie*' genoemd, naar de fabrikant Rank Xerox, die het voor het eerst toepaste. Bij elektrostatische beeldoverdracht wordt een lichtbeeld overgedragen op papier via de tussenstap van een trommel, die elektrisch geladen wordt en inktstof aantrekt. Dat inktstof is de '*toner*'.
Het basisprincipe van een laserprinter is getekend in de onderstaande figuur. Hart van het apparaat is de trommel, ook wel '*drum*' genoemd. Deze is voorzien van een speciaal lichtgevoelig oppervlak, waarvoor meestal een of andere halfgeleider wordt gebruikt. Vroeger werd hiervoor het nogal giftige selenium gebruikt, tegenwoordig werkt men met amorf silicium. Naast het voordeel van niet-giftigheid is silicium bovendien veel lichtgevoeliger dan selenium. Daarnaast worden ook vaak zogenoemde '*OPC*'-drums gebruikt, hetgeen het letterwoord is van '***O****rganic* ***P****hoto* ***C****onductor*', oftewel fotogeleider uit organisch materiaal.
De drum draait in uurwijzerzin. Beschouw een bepaald punt op het oppervlak van de drum. Dat punt draait eerst onder de '*reinigingsunit*' door. Hier wordt alle toner van de vorige afdruk, die nog op de drum aanwezig is, verwijderd. Deze unit bestaat meestal uit een soort schraper of een aantal borsteltjes, die het oppervlak van de drum schoonveegt en het oude tonerpoeder afvoert naar een afvalcontainertje. Vervolgens draait het beschouwde punt door onder de '*primaire corona*'. Deze unit bestaat uit een elektrostatische oplader, een zeer dunne strak gespannen metalen draad, die op een zeer hoge gelijkspanning wordt gezet. De hoge gelijkspanning op deze draad wekt een zeer sterk elektrostatisch veld op, met als gevolg dat het oppervlak van de drum elektrisch wordt opgeladen. Vervolgens draait het punt door naar de plaats waar de echte actie plaats vindt. De drum wordt getroffen door een zeer fijne straal laserlicht. Bij zeer fijn moet u denken aan een lichtstraaltje met een diameter van een paar duizendsten van een millimeter!



Constructie van een laserprinter. (© 2025 Jos Verstraten)

De belichting van de drum
Dat licht is afkomstig van de belichtingseenheid. Hiervoor bestaan verschillende systemen, waarvan de '*polygoon scan techniek*' het meest gebruikt wordt. De dunne lichtstraal wordt via lenzen en beweegbare spiegels op de drum gefocusseerd. De beweegbare spiegels zorgen ervoor dat de lichtstraal uiterst snel de volledige breedte van de drum afscant. De lichtstraal wordt bovendien gelijktijdig gemoduleerd, dat wil zeggen dat de continue lichtstraal wordt

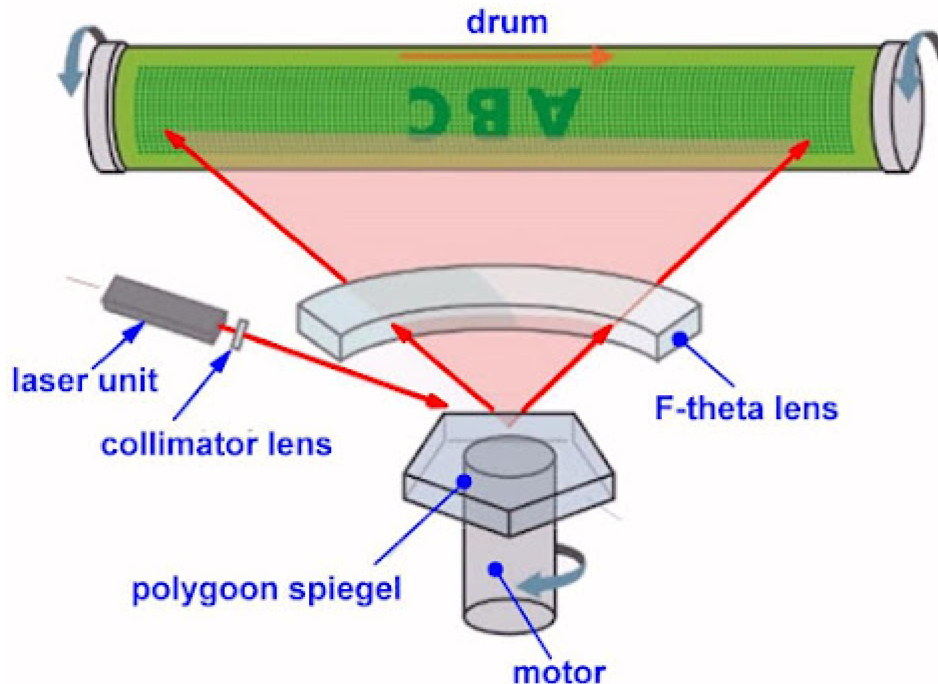
omgezet in een opeenvolging van korte lichtflitsjes. Op deze manier wordt de printinformatie, die uiteraard uit logische AAN- en UIT-signalen bestaat, omgezet in lichtpulsen. Deze lichtpulsen treffen de drum.
Nu gebeurt er iets vreemds. Daar waar de lichtpulsen het oppervlak van de drum treffen, zal de door de corona aangebrachte elektrische statische lading afvloeien. Het fysische proces dat hiervoor verantwoordelijk is, is vrij ingewikkeld en er komt zelfs kwantummechanica aan te pas om het verschijnsel te verklaren. In het kort komt het er op neer dat de hoog-energetische fotonen, waaruit het laserlicht bestaat, bepaalde eigenschappen van de atomen van de lichtgevoelige laag beïnvloeden. Belangrijk is, dat de door de corona egaal opgeladen drum door de belichting een '*elektrostatisch beeld*' krijgt. Het beeld dat later op het papier wordt afgedrukt, is reeds op het oppervlak van de drum aanwezig, maar onder de vorm van elektrische ladingsverdelingen.

Beeldopbouw
De drum draait verder in uurwijzerzin, het beschouwde punt komt nu bij de '*magnetische rol*'. Deze zorgt ervoor dat het tonerpoeder zich hecht op die delen van de drum die ontladen zijn door de laserstraal. Het tonerpoeder wordt eerst opgeladen tot hetzelfde elektrisch potentiaal als de drum. De magnetische rol brengt een zeer dunne laag van dit opgeladen poeder in de nabijheid van de drum. Daar waar de drum ontladen is, ontstaat een elektrostatisch veld tussen de ontladen delen van de drum en het elektrisch geladen tonerpoeder. Het poeder wordt aangetrokken door de ontladen delen van de drum, springt van de magnetische rol naar de drum en hecht zich op die plaatsen die ontladen zijn.
In deze fase van het proces wordt het elektrostatische beeld op de drum dus omgezet in een beeld dat bestaat uit los tonerpoeder.

Hechting op papier
Ondertussen is het papier aangevoerd. Dat papier beweegt met dezelfde snelheid als de omtreksnelheid van de drum. De bedoeling is nu dat het aan de drum hechtende tonerpoeder wordt overgedragen op het papier. Ook dat gebeurt elektrostatisch. In de '*transferunit*' wordt het papier elektrisch opgeladen en wel met een tegengestelde polariteit als de drum. In die eenheid is dus een tweede coronadraad aanwezig, die ook op een hoge gelijkspanning staat, maar van tegengestelde polariteit als de spanning waarmee de drum werd opgeladen.
Het papier wordt in de nabijheid van de drum gebracht. De elektrostatisch lading op het papier zorgt er nu voor dat het losse op de drum aanwezige tonerpoeder van de drum wordt losgerukt en op het papier terecht komt.
Het tonerpoeder is nu weliswaar op het papier aanwezig, maar nog steeds onder de vorm van een losse laag, die er zo vanaf gestreken kan worden. In de laatste fase van het proces wordt dit losse poeder op het papier gefixeerd. Dat gebeurt in de '*fixeerunit*'. Het papier wordt tussen twee rubber rollen gevoerd, die door middel van een lamp opgewarmd zijn tot een temperatuur van ongeveer 150 °C. Het losse tonerpoeder wordt hierdoor als het ware gesmolten en hecht zich vast op het papier. Het opgewarmde papier gaat nu naar de opvangbak.

De polygoon scan techniek
De grootste uitdaging bij de constructie van een laserprinter is met één uiterst dunne lichtbundel de digitale informatie van één volledige pagina op de drum te projecteren. Bij de meeste printers wordt gebruik gemaakt van de '*polygoon scan techniek*'. Dit systeem is schematisch voorgesteld in de onderstaande figuur.
Hart van het systeem is een laser, met een vermogen van een paar mW. Deze zendt een continue zeer dunne (2/100 mm) lichtbundel uit, die eerst via een convergentielens nog meer wordt gebundeld. Nadien volgt de lichtmodulator. Hier wordt de elektronische informatie, afkomstig van de computer, omgezet in een pulserende lichtstraal. Dat zit allemaal in het blokje '*laser unit*' op de tekening.
De gemoduleerde laserstraal gaat vervolgens door een '*collimator lens*'. Dat is een optische component die is ontworpen om divergerende lichtstralen van een puntbron om te zetten in een parallelle, niet-dispersieve straal. Deze straal valt op de '*polygoon spiegel*'. Dit is het belangrijkste onderdeel van het optisch systeem. Zoals de naam doet vermoeden, bestaat deze spiegel uit segmenten, in de meeste gevallen vijf of zes. De spiegel draait heel snel

rond, toerentallen van 7.600 omwentelingen per minuut zijn geen uitzondering. De laserstraal valt in op de segmenten van deze spiegel en zal natuurlijk worden teruggekaatst, volgens de eenvoudige optische wet die zegt dat de invalshoek gelijk is aan de weerkaatsingshoek.
Doordat de spiegel draait zal de weerkaatsingshoek echter lineair variëren. Het gevolg is dat de laserstraal een heen-en-weergaande beweging gaat uitvoeren.
Op deze manier zal de straal lijn na lijn van de draaiende drum gaan scannen en de optische gegevens omzetten in een ladingsbeeld op de trommel.
De '*F-theta lens*' is een gespecialiseerde optische lens met als belangrijkste kenmerk is dat zij de laserstraal focust op het plat oppervlak van de drum en een lineair verband creëert tussen de scanhoek en de positie van de spot op dat oppervlak.



De polygoon scan techniek. (© Canon, edit 2025 Jos Verstraten)

Het tonerpoeder
Het tonerpoeder bestaat uit een zeer fijne menging van 50 % ijzeroxide, 35 % hars, 10 % verfpigmenten en 5 % additieven. Het ijzeroxide is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat het poeder goed aan de magnetische verdeelrol blijft kleven en gemakkelijk van deze rol naar de ongeladen delen van de drum springt. Het hars is verantwoordelijk voor het insmelten van de toner op het papier. De additieven bevatten onder andere zeer fijne deeltjes van een harde ceramische stof. Deze deeltjes worden gebruikt om het fotogevoelig oppervlak van de drum schoon te schuren, zodat papierdeeltjes die er blijven aan kleven binnen de kortste keren worden weg geschuurd.

Klasse
Alle laserprinters zijn per definitie non-impact printers en werken pagina-georiënteerd.

Voor- en nadelen van laserprinters
Printers die werken met toner hebben een aantal voordelen op andere technologieën. Voor iedere afdruk wordt verse toner gebruikt, zodat de zwarting van iedere afdruk 100% is. In vergelijking met thermo-transfer printers, die uiteraard hetzelfde voordeel hebben, is de kostprijs van een afdruk op een laserprinter echter veel goedkoper. Er gaat immers vrij weinig van het poeder verloren en een tonercartridge heeft dus een zeer lange levensduur. In vergelijking met inktjet printers is de zwarting ook 100% op goedkoop, vezelhoudend papier. De gesmolten toner dringt immers niet in het papier in, maar blijft als een laag op het papier kleven. Problemen met uitvloeien van de inkt langs de vezelstructuur van het papier zijn niet aan de orde.
Een ander voordeel van deze technologie is dat men tegenwoordig in staat is printers met zeer hoge resoluties voor een redelijke prijs op de markt te brengen. Waren vroeger 300 dpi

printers de standaard op dit gebied, tegenwoordig is het alles 600 dpi of 1.200 dpi wat de klok slaat. Laserprinters met een resolutie van 2.400 dpi zijn reeds betaalbaar in de handel! Laserprinters hebben echter ook nadelen:

- **Schadelijke emissie:**
  Tijdens het printen kunnen kleine hoeveelheden fijnstof en ozon vrijkomen, wat in slecht geventileerde ruimtes ongezond kan zijn.
- **Afval en recycling:**
  Tonercartridges en bevatten plastic en metalen die niet altijd eenvoudig te recyclen zijn.
- **Hoge bedrijfstemperatuur:**
  De fixeerunit wordt erg heet, wat in kleine ruimtes voor extra warmte-ontwikkeling zorgt.
- **Puntverbreding:**
  De uiterst kleine dotjes poeder die via de drum op het papier worden aangebracht, worden door het fixeren iets uitgesmeerd. Dit noemt men '*puntverbreding*' en dit is een eigenschap waar weinig tegen te beginnen valt. Dit valt echter niet erg op als u alleen teksten print.

Kleuren laserprinters

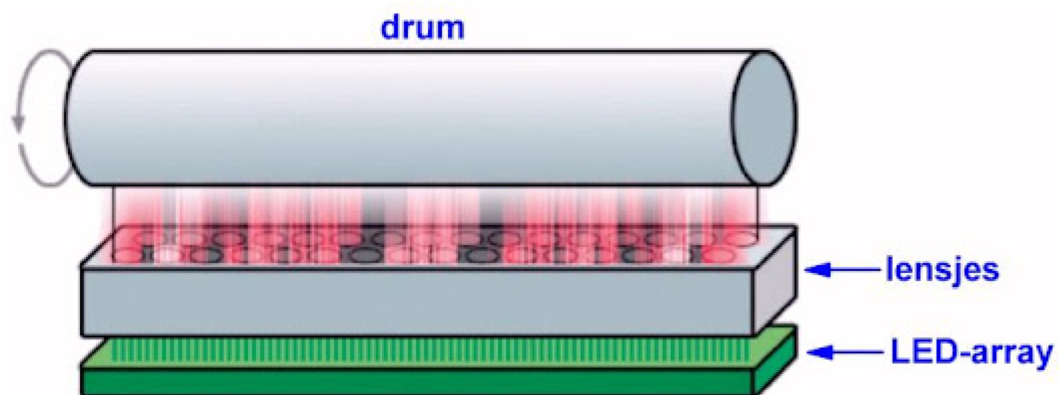
Werkingsprincipe
De meeste kleurenlasers werken volgens het principe dat ook bij kleuren offset drukpersen wordt gehanteerd. Zoals uit de onderstaande foto van een opengewerkte HP-printer blijkt, zijn er vier afzonderlijke drukwerken aanwezig, ieder met eigen drum en belichtingseenheid. Het papier doorloopt de vier units die respectievelijk het gele, magenta, cyaan en zwarte beeld overdragen. Dergelijke printers zijn een geduchte concurrent voor de traditionele klein formaat offset persen.



Een opengewerkte kleuren laserprinter van HP. (© Hewlett Packard)

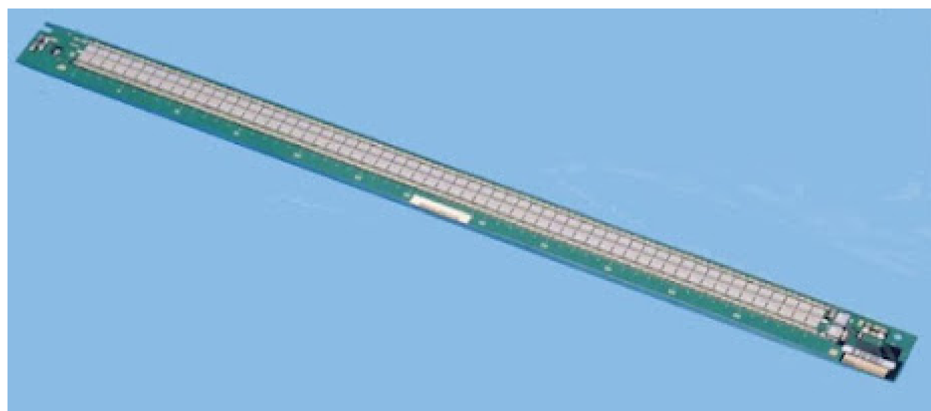
LED-array printers

Werkingsprincipe
Tegenwoordig kan men een laserbron maken onder de vorm van een klein elektronisch onderdeel, een laser-LED. Zo'n laser-LED hoeft niet groter te zijn dan een/honderdste van een millimeter en het is niet zo'n probleem om duizenden van deze dioden keurig naast elkaar op een drager aan te brengen. Zo'n constructie noemt men een '*array*' en een dergelijk array, opgebouwd uit bijvoorbeeld 2.500 laserdioden, kan het gehele ingewikkelde optische systeem van de polygoon scan techniek vervangen!
In de onderstaande figuur is het wel zeer eenvoudige principe van de LED-array printer geschetst. Een of meerdere LED-arrays worden vlak boven de drum aangebracht. Gebruikt men meerdere array's, dan wordt er natuurlijk weer gebruik gemaakt van de reeds bekende dual-in-line staggered techniek, waarbij de individuele laser-dioden in ieder array iets van plaats verschoven zijn. De duizenden laser-LED's worden nu individueel aangestuurd, zodat in een keer een volledige beeldlijn op de drum wordt belicht. Op deze manier is men in staat uiterst compacte en goedkope tonerprinters te fabriceren met een resolutie van 300 tot 600 dpi.
Het zal duidelijk zijn dat de aansturingselektronica in een dergelijke printer vrij complex is. Maar elektronica is tegenwoordig spotgoedkoop te maken en de prijs van een dergelijk systeem valt in het niet als men het vergelijkt met de prijs van het zeer ingewikkelde mechanische systeem dat de laserprinter-techniek nodig heeft.



Het principe van de LED-array printer. (© Xerox)

Bovendien zijn LED-printers natuurlijk veel betrouwbaarder, omdat zij veel minder bewegende onderdelen bevatten. In de onderstaande foto is de praktische uitvoering van zo'n laser-LED array, onderdeel van een OKI-printer, gefotografeerd. Het array bestaat uit 60 monolytische elementen die ieder een niet gespecificeerd aantal micro-LED'jes bevatten, gemaakt van gallium-arsenicum-fosfor als basismateriaal.


Praktische uitvoering van een laser-LED array. (© OKI)

Voordelen van de LED-array printers

- De golflengte van het door de LED's uitgestraalde licht kan gemakkelijk aangepast worden aan de gevoeligheid van het fotogevoelig oppervlak van de drum. Het gevolg is

dat volstaan kan worden met kortere belichtingstijden, waardoor de snelheid van het printen stijgt.

- Een tweede, reeds genoemd, voordeel is de eenvoud van de constructie en het totale gebrek aan mechanische onderdelen. Hierdoor kunnen dergelijke printers tegen zeer concurrerende prijzen op de markt worden gebracht, terwijl de bedrijfszekerheid op lange termijn uitstekend is.
- Laser-dioden hebben een hoog rendement, waardoor er weinig elektrische energie noodzakelijk is voor het belichten van de drum. Hierdoor werken dergelijke printers veel zuiniger dan de polygoon printers.
- LED-printers hebben geen last van optische vervormingen, waardoor horizontaal over het papier lopende lijnen ook echt kaarsrecht worden geprint. Bij polygoon printers zullen rechte lijnen altijd een kleine, maar best merkbare tonvervorming hebben.
- LED-printers kunnen gemakkelijk ontworpen worden voor het afdrukken op grote formaten. Er zijn LED-printers beschikbaar die papierformaten tot A0 (84,1 x 118,9 cm^2) kunnen bedrukken. Dergelijke grote formaten kunnen, vanwege de beperkingen van het optische systeem, nooit met het polygoon-systeem bedrukt worden.

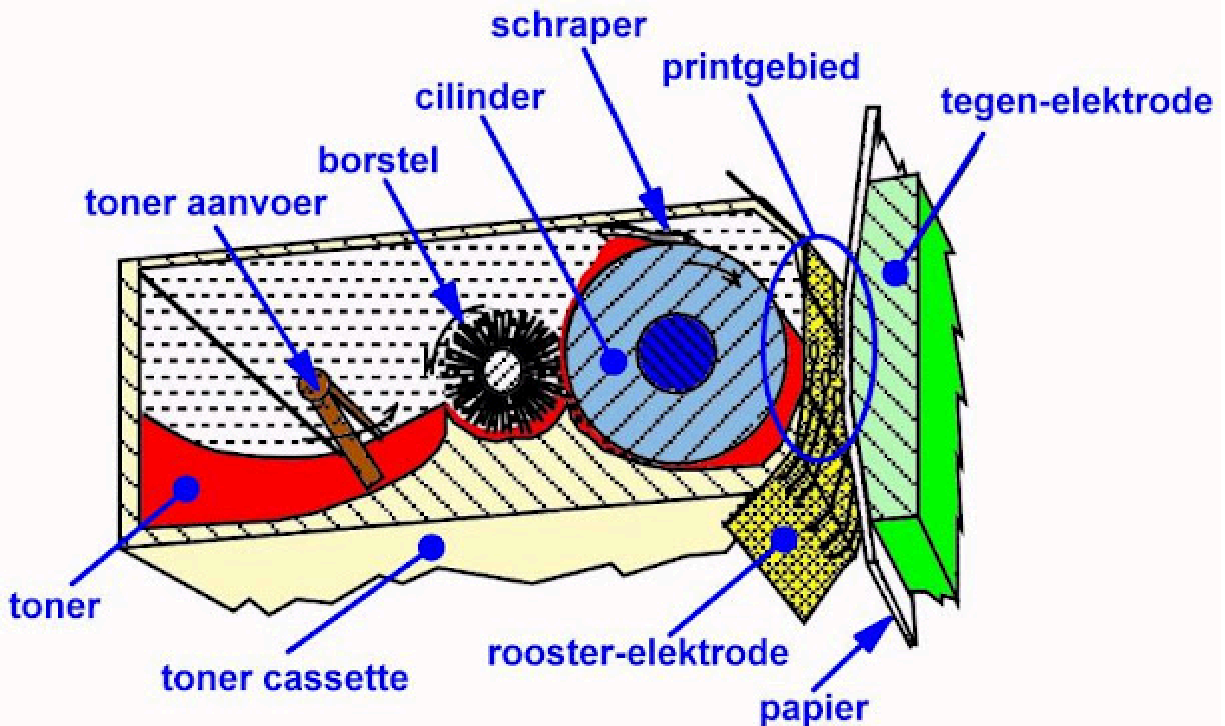
LCD-array printers

Werkingsprincipe
Het LED-array wordt nu vervangen door een array dat is samengesteld uit duizenden LCD-celletjes. 'LCD' is het letterwoord van '***L**iquid **C**ristal **D**isplay*' en deze technologie wordt bijvoorbeeld ook toegepast in polshorloges en de platte beeldschermen van draagbare computers. Een LCD-cel kan, onder de invloed van een elektrische spanning, ofwel invallend licht volledig blokkeren, ofwel het licht doorlaten. Het LCD-array wordt beschenen door een lamp, het licht van deze lamp wordt ofwel door de LCD-cellen gesperd, ofwel doorgelaten. In het laatstgenoemde geval valt het licht in op het fotogevoelig oppervlak van de drum.
De besturingselektronica voor een LCD-array is in grote lijnen vergelijkbaar met deze die gebruikt wordt bij een LED-array. Ook de voordelen van de LED-printer zijn van toepassing op de LCD-printer. Met één uitzondering, echter: het overschakelen van licht blokkeren naar licht doorlaten gaat bij een LCD-cel vrij traag, zeker als u het vergelijkt met de snelheid waarmee een laser-diode in- en uitschakelt. De maximale printsnelheid van een LCD-printer is bijgevolg lager dan deze van een LED-printer.

Tonerjet printers

Werkingsprincipe
Tonerjet printers werken, net zoals laserprinters, met tonerpoeder. Het revolutionaire van deze technologie is dat de tussenfase van het opbouwen van een elektrostatisch beeld volledig wordt overgeslagen. Het papier wordt rechtstreeks vanuit het tonerreservoir bedrukt. Hoe dat kan volgt uit de onderstaande figuur.
Er is nog wel een cilinder aanwezig, maar die draait in het tonerreservoir. De enige taak van deze ontwikkelcilinder is een zeer dunne en zeer gelijkmatige laag toner over de gehele breedte van het te bedrukken papier te verkrijgen. Deze cilinder maakt contact met een zogenoemde '*roosterelektrode*'. Deze elektrode bestaat uit een kunststoffolie, waarin duizenden uiterst kleine gaatjes zijn aangebracht. De wanden van deze gaatjes zijn verguld. Dit gebeurt op dezelfde manier als waarmee de gaatjes in een printplaat worden doorgemetalliseerd. Deze gouden contactpunten worden aangesloten op de besturingselektronica. Het papier wordt onder de roosterelektrode doorgevoerd. Onder het papier is één massieve tegenelektrode aanwezig.
Iedere gouden elektrode in ieder gaatje kan afzonderlijk onder spanning worden gezet. Daardoor kan er een spanningsverschil over het papier ontstaan. Dat spanningsverschil wekt een elektrostatisch veld op en dit veld trekt de moleculen van het tonerpoeder als het ware

door de gaatjes naar het papier. Op deze manier ontstaat dus weer lijn voor lijn een beeld op het papier. Het op deze manier met tonerpoeder bedrukte papier gaat vervolgens weer door twee verwarmde fixeerrollen (niet op de tekening aanwezig), waar het tonerpoeder op het papier gesmolten wordt.



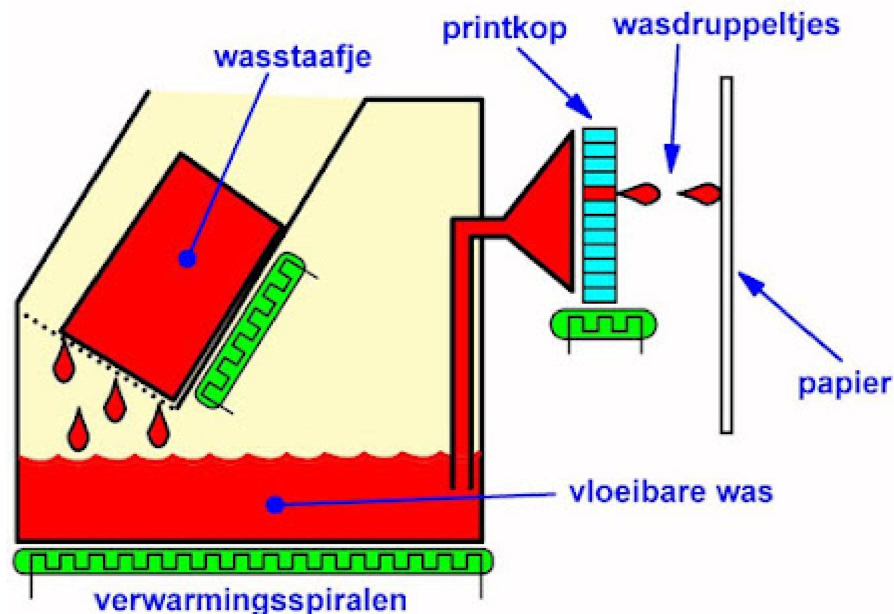
Werkingsprincipe van tonerjet printers. (© imaging.org, edit 2025 Jos Verstraten)

Voordelen van de tonerjet technologie
De roosterelektrode kan zoveel gaatjes bevatten, dat resoluties van 600 dpi zonder problemen mogelijk zijn. Bovendien is de dure fotogevoelige drum van laserprinters volstrekt overbodig. Het systeem werkt erg snel, zodat hoge papierdoorvoersnelheden verwacht kunnen worden.

Thermal wax printers

Werkingsprincipe
Thermal wax printers zijn gebaseerd op het principe van de inktjet printers. Groot probleem bij het inktjet procédé is dat de vloeibare inkt in het papier trekt, waardoor speciaal papier gebruikt moet worden om briljante kleurenafdrukken te krijgen. Thermal wax printers hebben dit nadeel niet en kunnen ook op normaal papier schitterende kleurenafbeeldingen produceren. Er wordt nu niet gewerkt met vloeibare inkt, maar met transparante kleurstoffen die zeer fijn zijn gemengd met een soort was. Zoals uit de onderstaande figuur volgt, worden de wasstaafjes (ook nu worden vier staafjes gebruikt in de standaard kleuren) eerst gesmolten in een reservoir. De vloeibare was wordt naar de printkop geleid, daar nog eens extra verwarmd tot de was dun vloeibaar is en via kleine gaatjes op het papier gespoten. Dat papier is koud, met als gevolg dat de uiterst kleine druppeltjes vloeibare was onmiddellijk stollen als zij in contact komen met het papier.
Het bedrukte vel papier wordt nadien gefixeerd. Dat gebeurt nu niet met verwarmde rollen zoals bij laserprinters, want dan zou de vloeibare was toch weer in het papier kunnen dringen, maar door druk. Het bedrukte papier wordt tussen twee metalen rollen doorgevoerd, die met grote kracht tegen elkaar gedrukt worden. De druk die op het papier wordt uitgeoefend zorgt er voor dat de kleine gestolde wasdruppeltjes platgedrukt worden.
Het grote voordeel hiervan is dat de typische rasterstructuur, die u bij alle tot nu toe besproken printertechnologieën aantreft, wegvalt. De afzonderlijke dotjes zijn niet meer als dusdanig te herkennen, waardoor het idee ontstaat alsof de afdruk ongerasterd is. Bovendien zullen door het koudwalsen de wasdruppeltjes van verschillende kleuren iets door elkaar

gemengd worden. De gebruikte kleurstoffen zijn transparant, waardoor zeer mooie mengkleuren ontstaan.



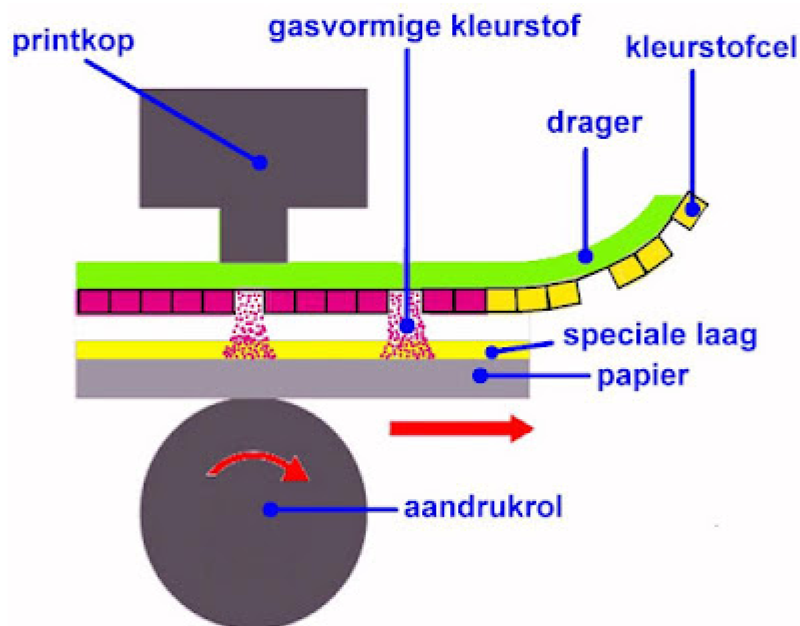
Werkingsprincipe van de thermal wax printers. (© 2025 Jos Verstraten)

Kleurstof sublimatie printers

Sublimatie
De meeste stoffen hebben drie zogenoemde aggregatie toestanden: vast, vloeibaar en gasvormig. Door het verhitten van een vaste stof wordt deze eerst vloeibaar (het smeltpunt) en gaat nadien over in gasvormige toestand (het kookpunt). Het smeltpunt van bijvoorbeeld water ligt op 0 °C, het kookpunt op 100 °C. Nu zijn er bepaalde stoffen waarvan het smelt- en kookpunt heel dicht bij elkaar liggen. Door een dergelijke stof in vaste toestand plotseling te verwarmen, zal de stof onmiddellijk verdampen, waarbij de vloeibare fase wordt overgeslagen. Een dergelijk proces, waarbij een stof opeens van vaste toestand in gasvormige toestand overgaat, noemt men sublimatie.

Kleurstof sublimatie printers
Sublimatie printers maken gebruik van het beschreven fysische verschijnsel. Zoals uit de onderstaande figuur volgt, lijkt het principe erg op dat van de thermo-transfer printers. Ook nu is er een rol printerfolie aanwezig, ingedeeld in opeenvolgende stroken in de vier basiskleuren. Ook nu staat er boven deze rol een array met verwarmingselementen. Maar daarmee houden de overeenkomsten op! De kleurstof zit in vaste vorm opgesloten in kleine cellen in de rol printerfolie. Deze cellen worden plotseling verhit, waardoor de kleurstof opeens verdampt. Door de grote uitzetting die hiervan het gevolg is, explodeert de cel als het ware en spuit een klein wolkje gasvormige kleurstof naar het papier. Het papier staat niet in mechanisch contact met de printerfolie, er is dus een klein spleetje tussen folie en papier aanwezig. Het papier heeft een speciale samenstelling, het bestaat namelijk uit een drager met daarop een speciale diffusielaag. Deze laag is poreus, zodat zij in staat is de gasvormige moleculen van de weggeschoten kleurstof in zich op te nemen. Het resultaat van een en ander is dat er geen scherp begrensde inktdot op het papier verschijnt, maar eerder een onregelmatig gevormd vlekje, met wazige randen. Vanwege dit feit is een sublimatie printer eigenlijk helemaal niet geschikt voor het afdrukken van bijvoorbeeld teksten. De randen van de letters zijn onscherp! Het principe is echter uitermate geschikt voor het afdrukken van kleurenfoto's. Doordat de gasvormige wolkjes kleurstof in de poreuze bovenlaag van het papier indringen, ontstaan mooie mengkleuren. Bovendien zorgen de wazige randen ervoor dat de naast elkaar geprinte kleurdotjes netjes in elkaar overvloeien, zodat echt de indruk

ontstaat van een kleurenfoto, zonder dat een hinderlijk waarneembaar dotraster aanwezig is.



Werkingsprincipe van de kleurstof sublimatie printers.
(© 2025 Jos Verstraten)

Voor- en nadelen
Sublimatie printers zijn kleurenprinters die in staat zijn foto's op een dergelijke manier af te drukken, dat het verschil met een opto-chemische kleurenfoto, gemaakt van een ouderwets negatief, niet waarneembaar is. Maar, zoals geschreven, voor het afdrukken van lijntekeningen en teksten zijn deze printers niet zo ideaal.
Een ander nadeel is de hoge prijs van de verbruikte materialen. Deze printers hebben dus de weg naar het gemiddelde kleine kantoor nog niet gevonden, maar zijn ideaal voor grafische studio's die kleurechte proefprinten van ontwerpen aan de klanten willen tonen.
Een ander voordeel is dat de afdrukken, gemaakt op een sublimatie printer, vrij krasvast zijn. Dit is natuurlijk een rechtstreeks gevolg van het feit dat de kleurstof in gasvormige toestand binnendringt in de diffusielaag van het papier en dus niet op het papier blijft liggen. Dit voordeel geldt zeer zeker als men de krasvastheid van een sublimatie-afdruk vergelijkt met deze van een thermal-transfer afdruk.

Klasse
Het zal wel zonder nadere toelichting duidelijk zijn dat kleurstof sublimatie printers behoren tot de non-impact printers en pagina-georiënteerd zijn.

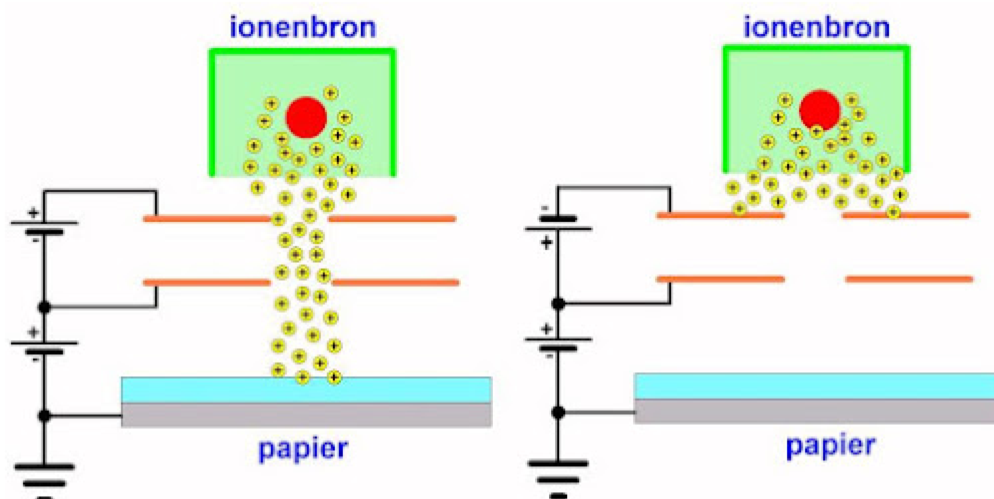
Opmerking
Kleurstof sublimatie printers worden soms ook aangeprezen als '*DS/T2 printers*'. Dit letterwoord slaat op het Engelse '***D**ye **S**ublimation, **T**hermal **T**ransfer*', een omschrijving die het werkingsprincipe van dergelijke printers kernachtig samenvat.

Ionen printers

Wat zijn ionen?
Een atoom is opgebouwd uit een elektrisch positief geladen kern, waar een aantal elektronen omheen cirkelen die negatief geladen zijn. De natuur heeft het zo geregeld dat een atoom elektrisch neutraal is. De positieve lading van de kern wordt gecompenseerd door de even grote negatieve lading van de elektronen. Nu is het met eenvoudige technieken mogelijk een of meerdere elektronen uit een atoom te verwijderen. Het achterblijvende, geamputeerde atoom heeft dan een overschot aan positieve lading en wordt een '*ion*' genoemd. Elektrisch

geladen stoffen kunnen echter aangetrokken of afgestoten worden door een extern elektrisch veld. Ook die positieve ionen kunnen dus aangetrokken of afgestoten worden.
Aantrekken of afstoten veroorzaakt een beweging. Men kan dus die positieve ionen van de ene plaats (bijvoorbeeld een kleurstof reservoir) naar een andere plaats (bijvoorbeeld een vel papier) transporteren. Als men er nu voor zorgt dat het vel papier negatief opgeladen is, zullen de positieve ionen een negatieve lading uit het papier opnemen en worden weer neutrale atomen. Maar ondertussen heeft men wél een minuscuul druppeltje kleurstof op het papier aangebracht!

Werkingsprincipe
Het werkingsprincipe van ionen printers is weergegeven in de onderstaande figuur. Hart van het systeem is een ionenbron (groen), een metalen behuizing waarin een centrale elektrode (rood) is opgenomen. Door tussen de behuizing en de centrale elektrode een grote gelijkspanning te zetten wordt alles dat in het vat aanwezig is geïoniseerd. In de behuizing is de kleurstof aanwezig, die dus door het grote elektrisch veld wordt omgezet in positieve ionen. Onder de behuizing zijn twee elektroden (oranje) aangebracht, voorzien van een gaatje met een middellijn van 10 µm. Tussen beide elektroden wordt een gelijkspanning gezet, die omgepoold kan worden. Dat wil zeggen dat in de ene toestand de onderste elektrode positief is ten opzichte van de bovenste en in de andere toestand de onderste elektrode negatief is en opzichte van de bovenste. Onder de elektroden zit het papier, dat op een grote negatieve spanning wordt gezet ten opzichte van het elektrodensysteem.



Werkingsprincipe van de ionen printer. (© 2025 Jos Verstraten)

In de linker tekening is weergegeven wat er gebeurt als de bovenste elektrode positief wordt ingesteld. De positieve inkt-ionen worden aangetrokken, gaan door het gaatje en komen op het negatief geladen papier terecht. Hier nemen de inkt-ionen negatieve lading op en transformeren zich tot neutrale atomen.
In de rechter tekening is de situatie geschetst die ontstaat als de spanning op de twee elektroden wordt omgepoold. De positieve ionen worden nu aangetrokken door de negatieve lading van de bovenste elektrode en gaan dus niet via het gaatje naar het papier. Op deze eenvoudige manier kan men dus al dan niet een dotje inkt op het papier printen.

Nadeel van de ionen printer technologie
Een van de grootste problemen is dat ionen alleen heel mooi gestuurd kunnen worden door elektrische velden in het absolute luchtledige. Nu is dat luchtledige bij een printer uiteraard niet te bereiken. Stuurt u ionen door lucht, dan botsen de ionen tegen de luchtmoleculen, waardoor zij een zigzaggende beweging gaan uitvoeren. Het gevolg is dat de op het papier geprinte inktdot toch vrij groot is, dit ondanks het feit dat de ionen door een gaatje met een diameter van slechts een/honderdste van een millimeter ontsnappen.

Nat-elektrostatische printers

Werkingsprincipe
Bij de nat-elektrostatische printers wordt gewerkt met vloeibare toners. De kleurstoffen zijn verwerkt in een emulsievloeistof. In een emulsie wordt gebruik gemaakt van een vloeibare drager, waarin de actieve stoffen onder de vorm van zeer kleine druppeltjes als het ware zweven. De bekendste emulsie is zonder enige twijfel mayonaise. Het medium, waarop gedrukt moet worden, wordt elektrostatisch opgeladen. Nadien wordt het medium door een bad gevuld met emulsie gevoerd. Overal waar op het medium elektrische lading aanwezig is, worden de kleine druppeltjes uit de emulsie naar het papier getrokken.
Nadien wordt het papier gedroogd, waarbij meteen de tonerdruppeltjes op het papier worden gefixeerd.

Voor- en nadelen van de nat-elektrostatische technologie
Het voordeel van deze technologie is dat men in staat is printers te bouwen die zeer grote papierformaten kunnen bedrukken. De haalbare resolutie bedraagt 400 dpi.
Nadelen zijn dat vrij veel giftige dampen vrijkomen en dat men de nodige aandacht moet besteden aan het afzuigen van deze dampen. Vandaar dat dit soort printers alleen in gespecialiseerde drukkerijen worden toegepast, waarbij met hoge snelheid grote vellen papier moeten worden bedrukt met snel wisselende gegevens.

Ultraviolet printers

Werkingsprincipe
Een UV-printer werkt door speciale inkten direct op een materiaal (substraat) te drukken en deze met UV-licht onmiddellijk uit te harden. Hierdoor kunt u op heel veel soorten materialen printen en zelfs op onregelmatig gevormde oppervlakken.
Een UV-printer lijkt qua basisopbouw op een inkjet printer. Printkoppen spuiten microscopische druppeltjes UV-inkt op het oppervlak. Deze inkt is echter anders van samenstelling dan gewone inkt. Het is een fotopolymeer, wat betekent dat het uithardt zodra het wordt blootgesteld aan UV-straling.
Meteen achter de printkop staan UV-LED-lampen. Onmiddellijk nadat de inkt is aangebracht, wordt deze belicht door de UV-lampen. De UV-straling zorgt ervoor dat de inkt direct polymeriseert (uithardt). De inkt droogt dus niet door verdamping, maar door een elektro-chemische reactie.



Een Chinese UV-printer. (© IndiaMart)

Meer dan vier printkoppen
Veel UV-printers hebben extra printkoppen, zoals wit voor onderlagen op donkere materialen en vernis voor glans of matte effecten.

Voordelen van de UV-printers
Omdat de inkt meteen vast wordt kunt u meerdere lagen op elkaar worden aangebracht, bijvoorbeeld voor het verkrijgen van speciale reliëf-effecten. Bovendien blijft de inkt op niet-poreuze oppervlakken (zoals glas) gewoon liggen zonder uit te vloeien.
Doordat de inkt niet hoeft in te trekken, kan een UV-printer printen op diverse materialen zoals hout, glas, metaal, acryl , kunststoffen, keramiek, leer, karton en papier.